

T 形交叉口异形钢箱梁空间受力分析

丁伟亮

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

摘要: 由于交通功能的要求和地形条件的限制,在市政道路的立体交叉口常设置异形钢箱梁桥。钢箱梁异形结构具有明显的空间特性,受力情况十分复杂。为了较为全面地反映该结构的受力特性,以广州市某垃圾处理厂公用配套工程为研究实例,针对 T 形交叉口异形钢箱梁结构,采用三维板壳单元建立有限元模型进行结构受力和计算。结果表明:在进行 T 形交叉口竖向设计时,为减少结构设计和施工时的困难,应尽量减小交叉口处结构的纵横向坡度;在最不利工况基本组合下,异形钢箱梁顶底板最大应力均位于支座附近,出现了局部应力集中效应,设计时应应对支座范围内的顶底板钢板进行适当加强,并设置支座加劲肋;桥梁支反力不均匀现象比较明显,部分支座甚至会出现负反力,易引起支座脱空现象,需设置抗拉球形支座或设置压重。所得结果可为其他类似桥梁结构的设计和计算提供可借鉴的经验。

关键词: T 形交叉口;异形钢箱梁;板单元;空间受力分析

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0088-03

0 引言

随着城市建设的快速发展,市政道路建设取得了相当的成就。为适应日益复杂的城市交通情况,在市政道路的立体交叉口处设置异形结构桥梁越来越常见。由于交通功能的要求和地形条件的限制,在市政道路的立体交叉口处所设置的异形桥梁属于非常规的受力结构。由于钢箱梁具有整体受力性能好、结构重量轻、抗震性能优越、施工快捷方便、工厂生产现场安装、对桥梁线形适应性强、可回收利用等优点,因此已成为这种复杂异形桥梁结构的首选形式。这种异形结构常常线形不规则且复杂、受力特征复杂(弯、剪、扭耦合作用),很难使用常规方法对其进行分析计算^[1]。

目前常用的异形桥梁的结构分析方法有以下 3 种:(1)采用空间梁单元建模进行分析计算,此方法的优点是简单实用,但是不能反映桥梁的横向作用效应;(2)采用梁格法建模进行分析计算,此方法建立的有限元模型较符合结构的实际受力情况,但难以精确反映薄壁结构的作用效应(如畸变、剪力滞等);(3)采用实体单元或三维板壳单元建模进行分析计算,此方法建模过程比较复杂,后处理工作量较

大,但能够考虑各种结构受力问题,对于复杂的钢箱梁异形桥,是最准确可靠的分析方法^[2-3]。

随着通用有限元程序的发展,对异形钢箱梁桥采用三维板壳单元进行精细化建模分析已是一种趋势。本文结合广州市某垃圾处理厂公用配套工程实例,针对 T 形立体交叉口处的异形钢箱梁结构,采用三维板壳单元建立有限元模型进行结构受力分析,以期为其其他类似桥梁的设计和计算提供可借鉴的经验。

1 工程概况

项目位于广州市某垃圾处理厂配套道路环一路与环三路交叉口,拟建场地内山体陡峭、起伏较大,因现场条件限制,该段位置处设计为高架桥。环一路与环三路均为双向 2 车道,2 条道路垂直相交;环一路全宽为 8.5 m,环三路全宽为 8 m,交叉口道路外边线转弯半径均为 8 m。环一路和环三路在交叉口位置均不设置纵坡,环一路设置 2% 的单向横坡,环三路设置 2% 的双向横坡,道路横坡通过混凝土铺装层进行调整。环一路与环三路交叉口异形桥梁平面示意图见图 1。

2 桥梁结构设计

该交叉口桥梁上部结构采用 T 形异形钢箱梁结构,东西向(环三路方向)全长为 17.5 m,南北向(环一路方向)全长为 33.5 m;采用 1.8 m 梁高的单箱多

收稿日期: 2023-10-15

作者简介: 丁伟亮(1983—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁与隧道工程设计工作。

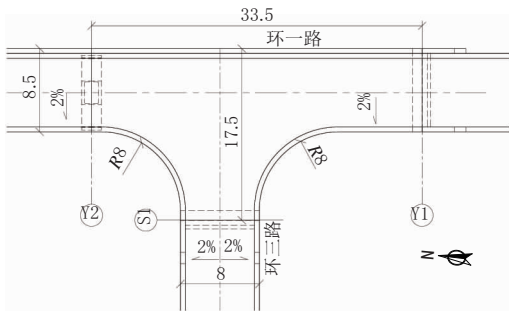


图 1 环一路与环三路交叉口异形桥梁平面示意图(单位:m)

室截面形式,悬臂长度为 1.35 m,曲线变化段按悬臂长度保持不变、顶底板加宽进行处理。桥梁结构采用工程分节段预制、现场拼装吊装施工。每轴设置 2 个支座,支座间距为 3 m。异形钢箱梁平面示意图见图 2,图中 YZ1、YZ2、SZ1 表示支座位置。

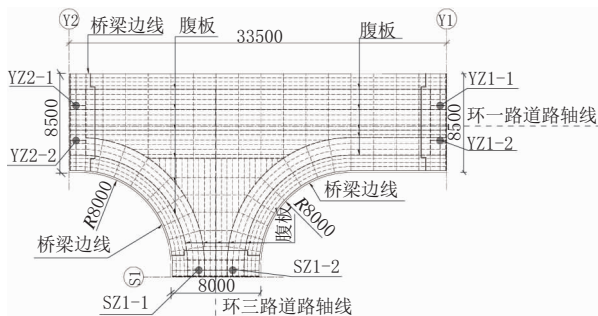


图 2 异形钢箱梁平面示意图(单位:mm)

为防止钢箱梁顶底板的刚度过小而导致桥梁铺装层破坏,且避免车轮荷载作用下钢板产生局部屈曲,根据结构受力和使用安全需求,桥梁顶底板厚度 t 取为 20 mm。为提高桥面板刚度,钢箱梁顶板采用 U 形纵向加劲肋,U 形肋中心距不大于 500 mm;底板主要承受拉应力,因此采用 I 形开口纵向加劲肋,加劲肋中心距不大于 500 mm。钢箱梁南北跨每隔 2 m 布置 1 道横隔板;东西跨每隔 1.5 m 布置 1 道横隔板,板厚均为 14 mm。钢箱梁结构标准横断面见图 3。

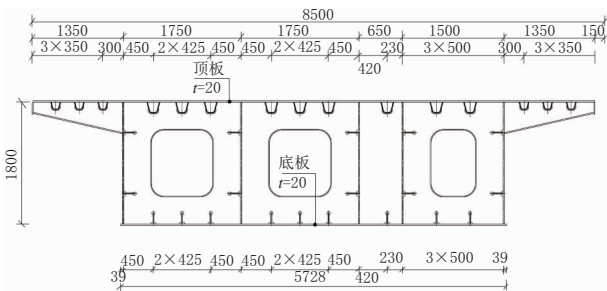


图 3 钢箱梁结构标准横断面示意图(单位:mm)

3 计算模型

本项目钢箱梁为异形复杂结构,且恒载和汽车荷载两者作用效应较接近,在各种荷载组合工况(特别是汽车荷载偏载)作用下,会产生较大的弯扭耦合

作用和畸变效应,结构具有明显的空间受力特性。采用三维板壳单元建立有限元模型进行分析计算,可全面反映钢箱梁异形结构的空间受力特性,进行可靠的分析。

3.1 设计荷载

- (1)恒载:钢材容重按 78.5 kN/m^3 计;防撞墙荷载为 10 kN/m ;混凝土铺装容重按 25 kN/m^3 计。
- (2)汽车荷载:城市 -A 级,双向 2 车道。
- (3)支座沉降:按每轴 5 mm 考虑。
- (4)整体升降温: $\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- (5)竖向温度梯度:正温度梯度下 $T1$ 取为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $T2$ 取为 $6.7 \text{ }^\circ\text{C}$;负温度梯度下 $T1$ 取为 $-12.5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T2$ 取为 $-3.35 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3.2 有限元计算模型

采用 MIDAS Civil 2021 软件建立全桥板单元空间模型。桥梁腹板、顶板、底板、横隔板均采用板单元进行模拟,为方便施工防撞墙荷载,在顶板悬臂边缘建立梁单元。支座采用面支承约束竖向位移,并按设计支座型号施加水平方向约束。防撞墙荷载按线性均布荷载施加在钢箱梁悬臂边缘边界单元上;桥面铺装按面荷载均布施加在顶板单元上;汽车荷载按空间影响面进行加载。

主梁采用 Q355c 钢材,钢材弹性模量为 $2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$,泊松比为 0.31。全桥共 5 883 个节点,6 825 个板单元,157 个梁单元。全桥有限元计算模型示意图见图 4,不显示顶板的全桥有限元计算模型示意图见图 5。

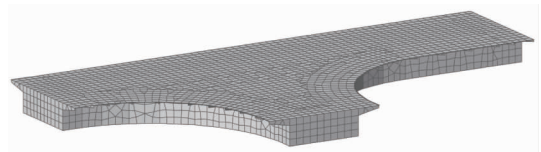


图 4 空间有限元模型示意图(全桥)

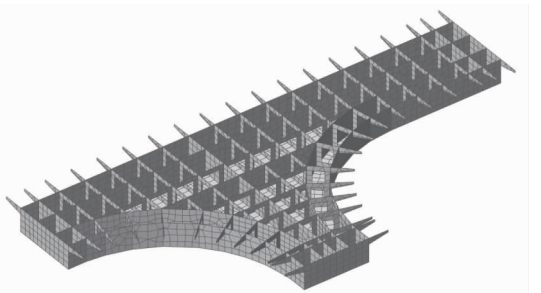


图 5 空间有限元模型示意图(不显示顶板)

4 计算结果

4.1 钢箱梁应力计算结果

在最不利工况基本组合下^[4-5],钢箱梁顶板最大应力为 141.0 MPa ;底板最大应力为 155.1 MPa ,如

图6、图7所示。由于最大应力均位于支座附近,出现了局部应力集中效应,故设计时应对应支座范围内的顶底板钢板进行适当加强,并设置支座加劲肋。

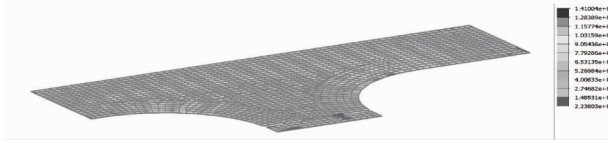


图6 钢箱梁顶板应力包络图(单位:MPa)

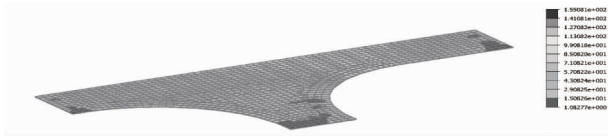


图7 钢箱梁底板应力包络图(单位:MPa)

钢箱梁腹板最大应力为92.2 MPa(见图8),满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)^[4]要求,小于Q355c钢材设计强度值。

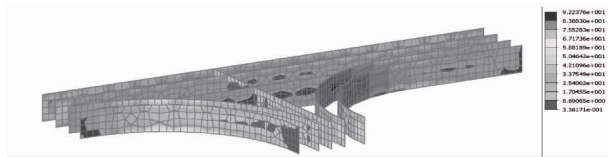


图8 钢箱梁腹板应力包络图(单位:MPa)

4.2 钢箱梁挠度计算结果

汽车静活载作用下,结构主跨的最大竖向位移值为3.88 cm,小于 $L/500=3\ 350/500=6.7$ cm,满足《公路钢结构桥梁设计规范》要求。在恒载和1/2汽车活载作用下,Y1、Y2跨的最大竖向位移值为5.58 cm(见图9)。根据《公路钢结构桥梁设计规范》,钢桥应设置预拱度,在环一路道路轴线与环三路道路轴线相交处预拱度为5.58 cm,各支点处为零,其间按2次抛物线变化。

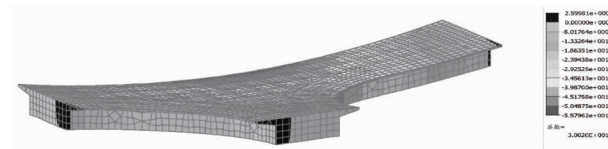


图9 恒载和1/2活载作用下最大位移(单位:cm)

4.3 钢箱梁支座反力计算结果

在最不利工况基本组合下^[4-5],钢箱梁支座反力最大值为6 275.8 kN,位置在YZ2-1;在YZ1-2、YZ2-2、SZ1-1支座位置均出现了负反力,易引起此处支座脱空,如图10所示。

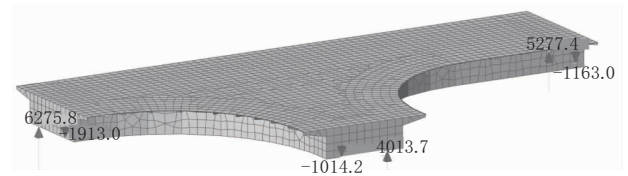


图10 桥梁支座反力示意图(单位:kN)

为防止钢箱梁支座脱空,通常采用以下2种方案:(1)采用抗拉球形支座;(2)在钢箱梁内设置压重。因为本项目支座负反力较大,设置压重需要较大体积,难以达到要求,故在YZ1-2、YZ2-2、SZ1-1支座位置设置抗拉球形支座。

5 结语

(1)在市政道路立体交叉口处的T形异形钢箱梁桥属于非常规的受力结构,线形变化多端、结构受力复杂,全桥空间效应明显。采用三维板壳单元建立有限元模型进行分析计算,可全面反映钢箱梁异形结构的受力特性,进行可靠的分析。

(2)在进行T形交叉口的竖向设计时,为减少结构设计和施工时的困难,应尽量减小交叉口处结构的纵横向坡度。

(3)在最不利工况基本组合下,顶底板最大应力均位于支座附近,出现了局部应力集中效应,故设计时应对应支座范围内的顶底板钢板进行适当加强,并设置支座加劲肋。

(4)在最不利工况基本组合下,该类异形桥梁的支座反力不均匀现象比较明显,部分支座甚至会出现负反力,易引起支座脱空现象。需设置抗拉球形支座或设置压重来避免这种情况发生。

参考文献:

- [1] 董杰.曲线连续钢箱梁梁单元与板单元模型计算分析[J].城市道桥与防洪,2014(1):59-60,71.
- [2] 贾高炯.钢箱梁桥设计[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2016:11.
- [3] 戴公连,李建德.桥梁结构空间分析设计方法与应用[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [4] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [5] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].